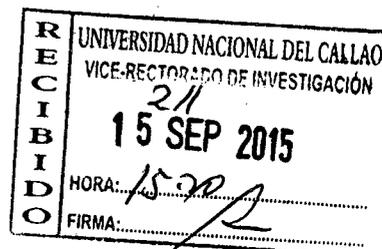
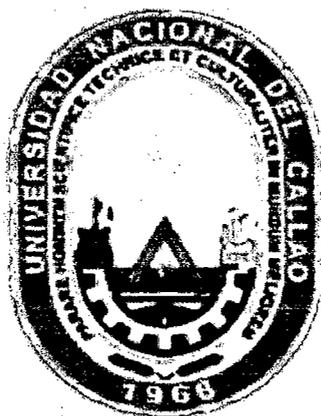


202

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“SANEAMIENTO DE SUELOS POR
FITORREMEDIACIÓN DE LOS CULTIVOS DE
PLÁTANOS EN EL FUNDO SAN JOSÉ DEL
DISTRITO DE MALA”

AUTOR: JOSE HUMBERTO SORIANO FRANCIA

(PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 1-09-2013 al 31-08-2015)

(Resolución de aprobación N°902-2013-R)

CALLAO, 2015

3

ÍNDICE

| | |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| I. ÍNDICE | 1 |
| II. RESUMEN Y ABSTRACT | 3 |
| 2.1. Resumen | 3 |
| 2.2. Abstract | 4 |
| III. INTRODUCCIÓN | 5 |
| 3.1. Descripción y Análisis del Tema | 10 |
| 3.2. Planteamiento de Problema | 12 |
| 3.3. Objetivos y Alcance de la Investigación | 13 |
| 3.3.1. Objetivo General | 13 |
| 3.3.2. Objetivos Específicos | 13 |
| 3.3.3. Alcance de la Investigación | 13 |
| 3.4. Importancia y Justificación de la Investigación | 14 |
| 3.4.1. Aporte Tecnológico e Importancia | 14 |
| 3.4.2. Esclarecimiento Tecnológico y Justificación | 15 |
| 3.5. De la Hipótesis | 15 |
| 3.6. Metodología para la Contrastación de la Hipótesis | 16 |
| IV. MARCO TEÓRICO | 17 |
| 4.1. El Plátano | 17 |
| 4.2. Metales Pesados Contaminantes | 21 |
| 4.2.1. Se consideran dos Grupos de Metales Pesados | 23 |
| 4.2.1.1. Oligoelementos o Micronutrientes | 23 |
| 4.2.1.2. Metales Pesados | 24 |
| 4.2.2. El Plomo | 25 |
| 4.2.2.1. Efecto del Plomo | 25 |
| 4.2.2.2. Plomo en el Medio Ambiente | 26 |
| 4.2.3. El Cobre | 27 |
| 4.2.3.1. Efecto del Cobre | 27 |
| 4.2.4. El Zinc | 36 |
| 4.2.4.1. Efecto del Zinc | 36 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3 Fitorremediación | 40 |
| 4.3.1 Plantas Fitorremediadoras adecuadas | 42 |
| V. MATERIAL, REACTIVOS Y MÉTODOS | 43 |
| 5.1. Materiales | 43 |
| 5.2. Reactivos | 43 |
| 5.3. Métodos para la Administración del Área y Época de la Toma de Muestra | 44 |
| 5.3.1. Factores Considerados en el Muestreo | 45 |
| 5.3.2. Determinación del Plomo | 45 |
| 5.3.3. Determinación de Cobre y Zinc | 46 |
| 5.4. Plantas Seleccionadas | 47 |
| 5.5. Sembrado de plantas Fitorremediadoras | 48 |
| 5.6. Análisis estadísticos | 48 |
| VI. RESULTADOS | 49 |
| 6.1. Resultado Instrumental de Suelos Contaminados | 49 |
| 6.2. Resultado Instrumental después de la Fitorremediación | 51 |
| VII. DISCUSIÓN | 54 |
| VIII REFERENCIALES | 56 |
| IX. APÉNDICE | 58 |
| X. ANEXOS | 62 |
| 10.1 Matriz de Consistencia | 63 |

II. RESUMEN Y ABSTRACT

El trabajo de investigación titulado "Saneamiento de Suelos por Fitorremediación de los Cultivos de Plátanos en el Fundo San José del Distrito de Mala", trata de investigar el porqué de cierta decadencia en la calidad de la producción de plátanos, por lo que se busca elaborar el tratamiento empleando la fitorremediación de los suelos que puedan estar contaminados por metales pesados en el fundo de San José – San Pedro de Mala, para poder aplicar el tratamiento adecuado, de manera experimental, se aplica el análisis químico cuantitativo instrumental y se llega a la conclusión que el contenido de Plomo, Cobre y Zinc no están en proporción de riesgo, de acuerdo a los estándares internacionales, por lo que no es necesario aplicar plantas fitorremediadoras para los casos de Pb, Cu y Zn, puede ser que las causas de disminución en la calidad de la fruta se debe a otros factores, como la continuidad del cultivo por largos años y entonces necesita un cierto tipo de abono, por lo que sería materia de otra investigación.

Palabra clave: Plátano, Fitorremediación, Análisis Químico Cuantitativo, Suelos de Cultivo.

ABSTRACT

The paper titled "soil remediation by phytoremediation of banana plantations in Fundo San José district of Mala" is investigating why a certain decline in the quality of the production of bananas, which seeks to develop treatment using phytoremediation of soils that may be contaminated by heavy metals in the estate of San Jose - San Pedro de Mala, to apply the appropriate treatment, experimentally, the instrumental quantitative chemical analysis is applied and reaches the conclusion that the content of lead, copper and zinc are not in proportion to risk, according to international standards, so they need not apply for cases Lantas fitorremediadores Pb, Cu, Zn may be that the causes of decline the quality of the fruit is due to other factors, such as crop continuidad for many years and then need some type of fertilizer, so it would be the subject of another investigation.

Keyword: Banana, Phytoremediation, Quantitative Chemical Analysis, cropland.

III. INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico que trajo consigo la revolución industrial iniciada hace más de 200 años llevo a considerar a las industrias como signo de prosperidad. No fue hasta los descubrimientos de los daños ocasionados a los ecosistemas y a la alteración de la calidad del aire, el suelo y el agua, que se tomó conciencia de que el crecimiento económico puede, también, traer consigo efectos indeseables (Maqueda, 2003). De los sistemas ambientales el suelo es el medio más estático, donde los contaminantes pueden permanecer durante mucho tiempo.

Esta permanencia a largo es especialmente grave en el caso de contaminantes inorgánicos, como los metales pesados, que no pueden ser degradados. Su persistencia, acumulación progresiva y/o su transferencia a otros sistemas supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas (Becerril et, al., 2007).

La contaminación constituye uno de los aspectos más importantes en la degradación de los suelos. La calidad de un suelo, es decir, su capacidad para sostener efectivamente el crecimiento de las plantas y otros organismos, puede verse afectada negativamente por la contaminación. (Maqueda, 2003).

En consecuencia directa de esta contaminación, es una ausencia inicial de vegetación o la pérdida de su productividad. Puede ocurrir también disminución de la biodiversidad al reemplazarse la vegetación natural con una cierta variedad de especies de plantas (metalofitas) capaces de colonizar estos suelos degradados (Wong, 2003).

La recuperación de suelos contaminados mediante métodos físicos o químicos normalmente rápida pero de alto costo económico. Estas puede realizarse in situ (tratando el suelo en su lugar) o ex situ (tratamiento tras transporte del suelo).

Las técnicas biológicas, o biorremediación, tienen como objetivo básico promover los procesos naturales y desarrollar técnicas para acelerar la recuperación de suelos y sedimentos contaminados. Dentro de las técnicas biológicas o ecológicas, el uso de plantas (fitorremediación) se considera capaz de dar soluciones in situ, con un gasto financiero y tecnológico relativamente bajo. Además, el resultado, una cobertura "verde", es más agradable estéticamente y más aceptable desde el punto de vista ambiental (Bernal et al., 2007).

La fitorremediación de suelos contaminados se basa en el uso conjunto de metalofitas, y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o

disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo (Chaney, et al., 1997).

Este grupo de fitotecnologías reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes (Cunningham et al., 1995).

Las metalofitas son especies de plantas que han desarrollado los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con altos niveles de metales, y por ello, son endémicas de suelos con afloramientos naturales de minerales metálicos (Shaw, 1990).

A pesar de que esas plantas se conocían ya antes de los años de la década de 1970, no llamaron la atención de la mayoría de los científicos hasta casi una década después. Desde entonces, ha emergido en torno a ese grupo de plantas un interés multidisciplinario, además de científico, también económico, y en disciplina tan diversas como la fisiología vegetal, la arqueología, la fitorremediación, la fitominería, etc. (Vásquez, 2003).

Por esta razón diversas investigaciones se han enfocado a desarrollar técnicas que exploten de forma conjunta los procesos biológicos

dependientes de plantas y microorganismos, así como procesos químicos como el uso de agente quelantes o secuestrantes para reducir el uso inherente asociado con los suelos contaminados con metales (Maqueda, 2003).

El gran interés despertado por las plantas hiperacumuladoras, especialmente para remediar un ambiente contaminado, obliga también a resolver problemas relativos a otras disciplinas; Brooks, (1998) hace hincapié en ello y destaca la importancia para el avance de la fitorremediación de la integración de diversos campos como botánica, fisiología, agronomía, química y genética.

Es muy importante recalcar que el objetivo último de un proceso de fitorremediación de suelos contaminados no debe ser solamente eliminar el contaminante o, en su defecto, reducir su concentración hasta límites marcados en la legislación, sino sobre todo recuperar o acercarse al estado óptimo del suelo, entendido ésta como la capacidad de este recursos para realizar sus funciones de forma sostenible (Garbisu et al., 2007).

CONTAMINACIÓN DEL SUELO

El suelo puede definirse como la materia, no consolidada, compuesta por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua y aire y organismos, que comprenden la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (Medina et al., 2001). Un suelo contaminado es aquel donde se encuentran presentes uno o más materiales peligrosos y/o residuos de índice tal que pueden construir un riesgo para el ambiente y la salud (Medina et al., 2001).

La contaminación antrópica del suelo aparece cuando una sustancia está presente a concentración superior a sus niveles naturales, y tienen un impacto negativo en alguno o todos los constituyentes del mismo.

Los niveles para considerar un suelo contaminado dependen del elemento en cuestión, uso del suelo y la legislación de cada país (Bernal 2007), efecto de los contaminantes del suelo.

El suelo se puede degradar al acumularse en él sustancias a unos niveles tales que repercuten negativamente su comportamiento. Los efectos desfavorables son (Porta et al., 1994):

1. Destrucción del poder de autodepuración por procesos de remediación biológica normales, al haber superado la capacidad de aceptación del suelo.
2. Disminución cualitativa y cuantitativa del crecimiento normal de los microorganismos del suelo, o bien alteración de su diversidad.
3. Disminución del rendimiento de los cultivos con posibles cambios en la composición de los productos con riesgo para la salud de los consumidores, al entrar elementos a la cadena trófica.
4. Contaminación de las aguas superficiales y freáticas por procesos de transferencia, se alcanza concentraciones superiores a las consideradas aceptables.
5. Disminución de las funciones de soporte de actividades de esparcimiento. Los espacios contaminados presentan problemas de salubridad para los usuarios.

3.1. Descripción y Análisis del Tema:

El Perú es un país minero, cuya explotación a lo largo y ancho del país es constante, pero esta explotación debe darse de manera tal que no contamine el medio ambiente utilizando tecnología adecuada para preservar el buen estado del suelo, el agua y el aire.



San Pedro de Mala es uno de los dieciséis distritos que integran la provincia de Cañete, ubicado en el Departamento de Lima, bajo la administración del Gobierno regional de Lima.

En Mala está ubicado San José, una zona agrícola que se constituyó en cooperativa a partir de la Reforma Agraria de los años 70, anteriormente a esta reforma, formó parte de una hacienda agrícola.

San José produce principalmente plátano, que es una planta herbácea (familia de plantas monocotilédneas del orden Zingiberales), la variedad conocida como "plátano de isla" es de excelente calidad, que ha dado lugar a la frase conocida como "Plátano de Mala" que significa que esta fruta es de buen sabor, de agradable textura y muy suave al paladar. Por lo que es muy importante cuidar este suelo para preservar un buen producto de reconocida calidad.

El suelo es muy húmedo que constantemente está drenando, se ha notado que la fruta actualmente no crece, como en tiempos pasados.

En las inmediaciones de San José se encuentra una mina cuya explotación puede estar generando cierto grado de contaminación, pues la mina para el transporte del mineral utilizan vehículos que atraviesan

los sembríos existentes, y podrían estar dejando caer trazas de metales pesados.

3.2. Planteamiento del Problema.

Un suelo que contiene metales pesados y cuya concentración sea superior a lo que la planta (plátano en este caso) pueda soportar, dará lugar a que no pueda desarrollarse y producción de frutos no alcance la lozanía y tamaño óptimo, este es un suelo que puede estar contaminado por metales pesados y de qué forma puede contaminarse, puede ser por el agua de riego, que estar acarreando trazas de metales pesados o porque existen minas cercanas que están en plena explotación, cuyas partículas contaminantes pueden ser llevadas al campo agrícola que están en plena explotación, cuyas partículas contaminantes pueden ser llevadas al campo agrícola por el aire, o por el transporte del mineral no protegido, que al pasar por las cercanías de los campos de cultivo pueden dejar caer partículas de minerales contaminantes, todo esto puede estar ocurriendo en el campo agrícola de San José.

También podría ser que los nutrientes esenciales que debe existir en el suelo, hayan declinado por los muchos años de explotación, esta es otra posibilidad para que la producción decaiga.

3.3. Objetivos y Alcance de la Investigación

3.3.1. Objetivo General

Elaborar el tratamiento por fitorremediación de los suelos contaminados por metales pesados en los fundos de San José-San Pedro de Mala.

3.3.2 Objetivos Específicos.

- a) Identificar las plantas que se pueden utilizar como fitorremediadoras.
- b) Caracterizar los suelos contaminados por metales pesados.
- c) Elaborar una propuesta del tratamiento del suelo contaminado con metales pesados.

3.3.3. Alcance de la Investigación.

Es una investigación de tipo experimental cuantitativo, en el que es necesario tomar muestra de suelos y efectuar el análisis cuantitativo usando un espectrofotómetro de absorción para cuantificar los elementos contaminantes que existieran siguiendo técnicas de muestreo adecuadas y de gran confiabilidad. Es una investigación básica. Se debe que tener en cuenta el área del terreno que se tome como referente, y puntos superficiales y también a diversas profundidades de los puntos señalados en el muestreo.



Las tecnologías de la remediación representa una alternativa a la disposición en tierra de residuos peligrosos sin tratamiento y sus posibilidades de éxito, bajo las condiciones específicas de un sitio, pueden variar ampliamente (US EPA 2001). Antes de considerar la aplicación de cualquier tecnología de remediación, es fundamental conocer ciertas características, tanto del suelo (factores ambientales) como el contaminante y de los organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc) presentes en el sitio.

Como se puede observar se beneficiará el suelo, agricultura y el medio ambiente, es decir, presta una gran utilidad al ser humano.

3.4. Importancia y Justificación de la Investigación

3.4.1. Aporte Tecnológico e Importancia

La fitorremediación es un proceso que tiene por objeto descontaminar los suelos valiéndose de especies vegetales capaces extraer, metabolizar y acumular las sustancias tóxicas presentes en el ambiente edáfico. Para ello, suelen emplearse diferentes especies, con probada capacidad para sanear aguas y suelos contaminados, modalidad que gradualmente está consolidándose en forma creciente.

3.4.2. Esclarecimiento tecnológico de la Investigación y Justificación.

Es importante reconocer que la fitorremediación ofrece ventajas adicionales a la limpieza de suelos y mantos freáticos al emplear alguno de los siguientes mecanismos:

- Incremento de la actividad y población microbiana en el subsuelo, que eleva la cantidad de carbón orgánico.
- Mejoras en la aeración del suelo por la liberación de oxígeno por las raíces.
- Retardación del movimiento e intercepción de compuestos orgánicos y algunos metales.
- Estimulación de las transformaciones de compuestos tóxicos a compuestos de menor toxicidad.
- Captación de hidrocarburos volátiles por las hojas, que sirven de “tapaderas” a los lugares contaminados (Lumelli, M.E. 2010)

3.5. De las Hipótesis

- **Hipótesis General**

La fitorremediación es un tratamiento que permite el mejoramiento de los suelos contaminados por metales pesados en los fundos de San José- San pedro de Mala.



- **Hipótesis Específica**

Se buscará plantas fitorremediadoras que permitan la recuperación o mejoramiento de suelos contaminados por metales pesados.

3.6. Metodología para la Contratación de la Hipótesis

- **Determinación del Universo**

Por la fitorremediación se mejorará los suelos contaminados por metales pesados, lo que permitirá la producción y calidad del plátano, estos permitirá conseguir mejorar precios.



IV. MARCO TEÓRICO

4.1. El Plátano

El plátano y banano (*Musa sp.*) en el Perú, son cultivos que se caracterizan por ser una valiosa fuente alimenticia para el consumidor y un importante factor de seguridad alimentaria para el productor y su familia, especialmente en la selva, además, genera ingresos permanentes para los agricultores, constituyendo una “caja chica” para financiar otras actividades agrícolas.

Se estima en 147,987 el número de familiar que dependen directamente e indirectamente de este cultivo a través a la cadena productiva. El tipo plátano es consumido mayormente cocido o en frituras, en verde o maduro; entre las principales variedades comerciales está el “Bellaco”, “Bellaco Plátano”, “Inguiri”. El tipo banano es consumido como fruta de mesa, destacando las variedades comerciales Seda” (Cavendish, Gros, Michell), “Isla”, “Moquicho o Biscochito” y “Capirona”.

Aproximadamente el 90% de la producción nacional se destina al autoconsumo y la diferencia es para la comercialización regional, nacional y para exportación. El principal mercado de consumo es el departamento de Lima, que absorbe el 8% de la producción total de la selva y costa norte.

Por tal motivo se ha elaborado la presente guía técnica para productores de banano y plátano en La Merced, Chanchamayo en el departamento de Junín, a fin de que mejoren la producción y puedan desarrollar una competitividad adecuada en este mercado (Ing. Herrera Roja, Mario).

CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

Familia: Musáceas.

Especies. *Musa cavendishii* (plátanos comestibles cuando están crudos) y *Musa paradisiaca* (plátanos para cocer).

Origen: tiene su origen en Asia meridional, siendo conocida en el Mediterráneo desde el año 650.

Hojas

Muy grandes y dispuestas en forma de espiral, de 2-4m de largo y hasta de medio metro de ancho, con un peciolo de 1m o más de longitud y limbo elíptico alargado, ligeramente decurrente hacia el peciolo, un poco ondulado y glabro.

Tallo

El verdadero tallo es un rizoma grande, almidonoso, subterráneo, que está coronado con yemas; éstas se desarrollan una vez que la planta ha florecido y fructificado.

A medida que cada chupón del rizoma alcanza la madurez, su yema terminal se convierte en una inflorescencia al ser empujada hacia arriba desde el interior del suelo por el alargamiento del tallo, hasta que emerge arriba del pseudotallo.

Raíces.

Son superficiales distribuidas en una capa de 30-40cm, concentrándose la mayoría a los 15 a 20cm. Son de color blanco y tiernas cuando emergen, posteriormente son duras, amarillentas.

Pueden alcanzar los 3m de crecimiento lateral y 1,5m de profundidad. El poder de penetración de la raíz es débil, por lo que la distribución radicular está relacionada con la textura y estructura del suelo.

Suelos

Los suelos aptos para el desarrollo del cultivo del banano son aquellos que presentan una textura franco arenosa, franco arcillosa, franco arcillo limosa y franco limosa, debiendo ser, además, fértiles, permeables, profundos (1,2-1,5m), bien drenados y ricos especialmente en materias nitrogenada.

El cultivo del banano prefiere, sin embargo, suelos ricos en potasio, arcillo-silíceos, calizos, o los obtenidos por la roturación de los bosques, susceptibles de riego en verano, pero que no retengan agua en invierno.

Presenta tolerancia a la acidez del suelo, pH5 siendo el mejor 6,5 y mejor desarrollo en suelos planos, o con pendientes al 1%.

Se recomienda el análisis de suelo para su dosificación de abono, ya sea, mensual o por campaña anual. La calidad de la fruta dependerá directamente del factor nutricional del suelo.

FERTILIZACIÓN

Es recomendable en el momento de la siembra utilizar un fertilizante rico en fósforo y cuando no se haya abonado; la primera fertilización tendrá lugar cuando la planta tenga entre 3 a 5 semanas, abonar al pie de planta.

En condiciones tropicales, los compuestos nitrogenados se lavan rápidamente con el riego. Se recomienda fraccionar la aplicación de estos elementos a lo largo del ciclo vegetativo.

A los dos meses, aplicar urea o nitrato amónico, repitiendo el tratamiento a los 3 y 4 meses. Al quinto mes se debe realizar una aplicación de un fertilizante rico en potasio, por ser uno de los elementos más importantes para la fructificación del cultivo.

En plantaciones adultas, se seguirá empleando una fórmula rica en potasio (500g de sulfato o cloruro potásico), distribuida en el mayor número en cuenta el análisis de suelo para determinar con mayor exactitud las condiciones actuales de fertilidad y elaborar un adecuado programa de fertilización.

El uso de abonado orgánico es adecuado en este cultivo no sólo porque mejora las condiciones físicas del suelo, sino porque aporta elementos nutritivos. Entre los efectos favorables del uso de materia orgánica, está el mejoramiento de la estructura del suelo, un mayor ligamiento de las partículas del suelo y el aumento de la capacidad de intercambio.

La calidad del plátano está también ligado a las condiciones de nutrición del suelo (Mario Herrera y Luis Coloniza Coral).

4.2. Metales Pesados Contaminantes

El suelo puede perder su valor para la producción de alimentos o diferentes productos o servicios a causa de la acumulación de

materiales peligrosos que pueden constituir un riesgo para el ambiente y la salud, a niveles tales que repercuten negativamente en su comportamiento.

El desarrollo económico que trajo consigo la revolución industrial iniciada más de 200 años llevo a considerar a las industrias como signo de prosperidad. No se reparó en la contaminación hasta los descubrimientos de los daños ocasionados a los ecosistemas y a la alteración de la calidad del aire, el suelo y el agua, que se tomó conciencia de que el crecimiento económico puede también, traer consigo efectos indeseables (Maqueda, 2003). De los sistemas ambientales el suelo es el medio más estático, donde los contaminantes pueden permanecer durante mucho tiempo. Esta permanencia a largo plazo es especialmente grave en el caso de contaminantes inorgánicos, como los metales pesados, que no pueden ser degradados. Su persistencia, acumulación progresiva y/o su transferencia a otros sistemas supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas (Becerril, 2007).

La contaminación constituye uno de los aspectos más importantes en la degradación de los suelos. La calidad de un suelo, es decir, su capacidad para sostener efectivamente el crecimiento de las plantas y

otros organismos, pueden verse afectada negativamente por la contaminación (Maqueda, 2003).

La consecuencia directa de esta contaminación, es una ausencia inicial de vegetación o la pérdida de productividad. Puede ocurrir también disminución de la biodiversidad al reemplazarse la vegetación natural con una cierta variedad de especies de plantas (metalofitas) capaces de colonizar estos suelos degradados (Wong, 2003).

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual a superior a 5g/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (se excluyen a los metales alcalinos y alcalinos térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor al 0,01% junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se suelen englobar con ellos por presentar orígenes o comportamientos asociados, en este el caso del As, B, Ba y Se (García y Dorronsoro, 2001).

4.2.1. Se consideran dos Grupos de metales pesados

- Oligoelementos o Mieronutrientes
- Metales pesados propiamente dichos

4.2.1.1. Oligoelementos o Micronutrientes

Los oligoelementos o micronutrientes, son los requeridos en pequeñas cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasando una cierta concentración se vuelven tóxicos. En este grupo están: As, B, Co, Cr, Mo, Mn, Ni, Se y Zn (Nedelkoska y Doran, 2000, Dorronsoro, 2001).

4.2.1.2. Metales pesados

Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva a disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, B.

El contenido de metales pesados en los suelos, deberían ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogenéticos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana incrementa el contenido de esos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta sin duda, la más frecuente de las concentraciones tóxicas (Garbish y Alkora, 2001, García y Dorronsoro; 2001)

o

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro vías: pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitaciones, pueden ser absorbidos por las plantas y ahí incorporarse a las cadenas tróficas, pueden pasar a la atmósfera por volatilización y pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas (García y Doronsoro, 2001).

4.2.2. El Plomo

Su símbolo es Pb, su número atómico es 82 y su masa atómica es 207,2 g/mol. El plomo es un metal pesado de color azul-grisáceo, inodoro, insípido, y no tiene un valor fisiológico conocido (Who, 1977, Marqués, 1999).

4.2.2.1 Efecto del Plomo

El plomo es un elemento que no cumple ninguna función vital en el organismo Humano y que resulta tóxico en pequeñas dosis.

Puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como en adultos. Los efectos del plomo en la salud de los niños pueden incluir problemas de comportamiento y de aprendizaje (Hiperactividad), crecimiento atrasado, problemas auditivos, dolores de cabeza y daño al cerebro y al sistema nervioso central.

Los adultos expuestos al plomo pueden sufrir de problemas reproductivos, presión sanguínea alta, trastornos digestivos, dolor en los músculos y en las conyunturas, problemas de memoria y de concentración y trastornos nerviosos.

El plomo se fija a las enzimas y altera la estructura y función de muchas proteínas, interfiriendo así con la acción y la finalidad de muchos tipos diferentes de células del cuerpo. Estos cambios pueden ocasionar daños permanentes a los órganos en crecimiento y en desarrollo, en especial al sistema neurológico de los niños, y es muy difícil revertir los efectos. Penetra en el cuerpo no sólo por vía oral, sino también por las vías respiratorias. Los niños que viven cerca de una fundición de plomo o una planta manufacturera de baterías para vehículos corren el gran riesgo de quedar expuestos a la toxicidad de ese elemento.

4.2.2.2. Plomo en el Medio Ambiente

Desde hace algunas décadas la importancia del plomo como contaminante ecotoxicológico ha sido bien conocida. Así, el impacto de los metales pesados de origen antropogénico en el medio ambiente, ha sido objeto de estudio en varias investigaciones. El plomo (Pb) se considera un contaminante ecotoxicológico ya que su uso provoca contaminación ambiental y exposición en humanos. La principal vía de biodisponibilidad son el suelo y el polvo, donde se concentra y por

medio del cual ingresa a los organismos. El manejo inadecuado de materiales con plomo ha sido causante de numerosos problemas ambientales en todo el mundo; sin embargo, no todo el plomo del suelo presenta el mismo grado de movilidad o biodisponibilidad.

4.2.3. El Cobre

Su símbolo es Cu, su número atómico es 29 y su masa atómica es 63,55 g/mol. El cobre es un metal pesado de color rojo, inodoro e insípido.

4.2.3.1. Efecto del cobre

Cobre (Cu). Las plantas rara vez tienen deficiencia de cobre, en parte porque lo que quieren en cantidades muy pequeñas, según Russell (1998), las concentraciones normales se encuentran entre 2,5 y 60 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a pesar de esto muchos suelos de Australia son muy deficientes en cobre (y en otros micronutrientes como zinc y molibdeno), por tal motivo son fertilizados exageradamente con cobre y otros oligoelementos (Donald y Prescott, 1975). El cobre se absorbe como ion cúprico, Cu^{2+} divalente en suelos aireados, o como ion cuproso monovalente en suelos húmedos con poco oxígeno. El Cu^{2+} es quelado por varios compuestos del suelo (por lo general no identificados), es probable que éstos proporcionen la mayor parte del cobre a las superficies radicales. Está presente en diversas enzimas o proteínas implicadas en los

procesos de oxidación y reducción, en los cuales participa como catalizador en ciertas carboxilaciones; dos ejemplos notables son la citocromo oxidasa, una enzima respiratoria que se halla en las mitocondrias, y la plastocianina, una proteína de los cloroplastos. Se considera que la mayoría del cobre en el suelo existe en formas químicas absorbidas u ocluidas en hidróxidos de hierro, aluminio y magnesio o formando complejos con la materia orgánica, esto es corroborado por los estudios de McLaren y Crawford (1973), mencionados por Russell (1988), en suelos británicos. El cobre al igual que el hierro, influye en la planta por el cambio de valencia Cu^{++}/Cu . Interviene en oxidaciones terminales cuando se combina con proteínas, por ejemplo, en la oxidación del polifenol, la cual provoca el oscurecimiento de los cortes de la planta cuando se expone al aire. También interviene en la fotosíntesis y facilita la transferencia de electrones a los receptores quinónicos (Lassoudiere, 1973). Por tanto, es un microelemento esencial para el desarrollo de las plantas, ya que juega un papel muy importante en el proceso de fotosíntesis, en las enzimas oxidadas y en la fijación simbólica de nitrógeno (Russell, 1988). Las necesidades de Cu de la planta del banano son tan pequeñas, que sólo se conoce el caso de la deficiencia, en el campo de las tuberías de Niecky en Costa de Marfil, descrito por Moity (1961). Por tal motivo, la nutrición cúprica en banano ha sido muy poco estudiada (Díaz et al, 1976). El cobre está muy concentrado en los tejidos de hojas

no emergidas en la fase vegetativa, así como en la inflorescencia y en el raquis interno en la fase productiva. Por tanto, el Cu se presenta con mayor concentración en los tejidos de crecimiento activo, y su distribución en los diferentes órganos de la planta es muy parecida a la seguida por el boro (Walmsley y Twyford, 1976).

Otros investigadores manifiestan que las partes del plátano que albergan un contenido más alto en cobre son las hojas y en la cosecha el fruto va tener cantidades similares a la de las hojas (Twyford y Walmsley, 1974). El cobre extraído por el plátano son cantidades muy pequeñas comparado con la otros micronutrientes que requiere la planta de plátano, aumentando gradualmente su contenido en cobre desde el inicio del crecimiento hasta la cosecha de la fruta.

La cantidad tomada después de la floración no es suficiente para satisfacer las necesidades fisiológicas del desarrollo de la fruta, por lo que se deduce que una pequeña cantidad se redistribuye desde otros órganos principalmente las hojas (Walmsley y Twyford, 1976). Tavares y Flaquez (1997), encontraron los mayores contenidos de Cu en los frutos y en el pseudotallo en el momento de la cosecha, y en las hojas al momento de la floración, mientras que los contenidos fueron muy bajos en las raíces. Las necesidades de Cu son muy bajas desde la fase inicial, pero se incrementan fuertemente en la etapa de FM-

floración-cosecha. Deficiencia de Cobre: Los excesos o deficiencias de Cu han sido estudiados por Moity (1961), en Costa de Marfil y por Lassoudière (1973), según los autores, los síntomas de carencia se manifiestan por un marchitamiento general de la planta con acortamiento de las inserciones peciolares, las láminas foliares caen en forma de campana con doblamiento de los peciolo. El raquis se adelgaza y los racimos aparecen con frecuencia sin dedos. Las plantas en estado avanzado de carencia muestran manchas cloróticas en el pseudotallo, peciolo y hojas, semejante a la clorosis por Nitrógeno. La planta se torna muy sensible a ataques de virus y hongos. En ausencia de cobre, las hojas jóvenes con frecuencia adquieren un color verde oscuro, están arrugadas o deformes y muchas veces exhiben manchones necróticos. Los huertos de cítricos en ocasiones tienen esta deficiencia, y las hojas jóvenes agonizantes en éstos inspiraron el nombre de la enfermedad de la "muerte de espaldas" (die back). Se presentan deficiencias en suelos originados a partir de material parental con baja concentración de cobre, suelos arenosos muy lixiviados o en suelos baja disponibilidad por ser originados a partir de turbas, material parental calcáreo o con alto contenido de arcillas (Mengel y Kirkby, 1982). Corderon y Ramírez (1979), dicen que la materia orgánica juega un papel muy importante en la disponibilidad de Cu, y que al combinarse lo elimina de la solución de suelo, evitando problemas de toxicidad.

El Instituto de la Potasa y el fósforo, citado por López y Espinoza (1995), dice que en suelos arenosos y bajos en materia orgánica pueden desarrollarse deficiencias de Cu por lixiviación. Toxicidad por Cobre. Los excesos de Cu en condiciones naturales se dan en suelos áricos, arenosos o en suelos en los que ha habido un excesivo uso de plaguicidas que contengan este elemento. La toxicidad de Cu se manifiesta como una deficiencia Fe, ya que su presencia en exceso inhibe el transporte de este elemento a las partes jóvenes, produciéndose también daños radicales (Bertsch, 1995). López y Espinoza (1995), dicen que un exceso de Cu puede provocar principalmente deformaciones en la raíz; y agregan que López y Solís (1991), encontraron que las deformaciones en las raíces como resultados de los altos niveles de Cu en el suelo, no afectaron la productividad del cultivo. Los niveles de Cu en las raíces, fueron muy altos (162 ppm). No se ha informado de niveles altos de Cu a escala foliar, ni que estos puedan provocar síntomas de toxicidad. Corderon y Ramírez (1979), reportan altas cantidades de Cu; en los suelos utilizados en el cultivo del banano en el Pacífico Sur, de Costa Rica entre los años 1930 y 1950, en los cuales se aplicaba caldo Bordelés para controlar la sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*), en concentraciones de 2,5kg de CuSO₄ por hectárea, con una frecuencia aproximada de 4 semanas. Según Robinson (1983), este elemento está

entre los metales pesados que se han acumulado en el suelo hasta alcanzar niveles tóxicos, causando serios problemas en los cultivos Avila y Regalado (1993), estudiando el problema de altos contenidos de cobre de los suelos en cuestión, con el fin de buscar soluciones, encontraron que en suelos a los cuales agregaron contenidos muy altos de cobre como de 2416ppm, las plantas murieron en un 12% de toxicidad, y cuando el contenido de Cu fue de 1527ppm, se encontraron efectos depresivos sobre el Fe, Zn, Ca, Mg y K. los mismos autores determinaron que en suelos altos en Cu, la adición de materia orgánica, quelatos y ácidos fosfórico y la combinación quelatos + ácido fosfórico, disminuyeron la concentración de Cu soluble en el suelo, mejorando la asimilación de los otros nutrientes. El cobre también es tóxico para los microorganismos, su efecto microbiológico se conocer desde que se inició su uso como fungicida con el caldo Bordelés. Así, la presencia de altas concentraciones de Cu^{2+} en el suelo también puede disminuir la tasa de degradación de la materia orgánica, incluyendo los desechos orgánicos altos en Cu^{2+} utilizados para fertilizar suelos (Bolt y Bruggenwert). El uso del cobre alrededor del mundo es muy amplio, Bowen (1966), menciona que para esa fecha en el ámbito mundial se usaban 70 millones de cobre por año en actividad agrícolas como plantaciones de uvas y otros cultivos.

Además, afirma que en ese momento el consumo tendía a aumentar. Según Russell (1988), si se produce una acumulación de cobre en el suelo hasta alcanzar niveles fitotóxicos, existen pocas posibilidades de manejo; una de ellas es subir el pH para bajar la disponibilidad; otra es utilizar un cultivo tolerante a alta concentración de Cu^{2+} como la palma aceitera (*Elaeis Guinensis* y *E. Oleifera*). Se ha encontrado que cuando hay aplicación fuerte de fertilizantes nitrogenados (Reuther y Labanausicas, 1966) fosfatados (Bingham, 1963; citado por Borgeset al, 1997) se presentan deficiencias de cobre; por tanto, esta podría ser otra opción de manejo de toxicidad, aunque bastante cara. Los niveles de Cu^{2+} en suelos contaminados alcanzan varios cientos de $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, éstas concentraciones son más altas en los niveles superficiales debido a su baja tasa de lixiviación (Mengel y Kirkby, 1982; Bolt y Bruggenwert, 1978). En suelos orgánicos, cinco años después de haber aplicado una dosis de $250 \text{ KgCu}^{2+}\cdot\text{ha}^{-1}$ se presenta una remoción de sólo 0,2%, a una profundidad de 5cm (Lundblaet al, 1949). Su absorción también está muy relacionada con los niveles de cobre disponible en el suelo, lo cual concuerda con el hecho de que el Cu^{++2} se encuentra comúnmente en mayor concentración en las raíces que en otros tejidos (Mengel y Kirkby, 1982). Su transporte parece ser realizado por los aminoácidos en solución debido a la afinidad que presenta con el nitrógeno (Tiffin, 1972). Según estos mismos autores, uno de los efectos presentados con mayor rapidez a causa de niveles tóxicos de Cu^{+2} en el suelo, es la

inhibición del desarrollo radical. En general el comportamiento del cobre en el suelo es muy influenciado por el pH. El Cu^{2+} generalmente reacciona con el OH^- a un pH de 7 o mayor, produciendo $\text{Cu}(\text{OH})^+$ y puede sufrir reacciones de absorción (Ellis y Knesek; citados por Russell, 1988). Dawdy y Volk (1983), en su artículo "Movement of Heavy Metals in Soils", indican que en el suelo el cobre puede presentarse en sitios de intercambio; incorporado dentro o sobre la superficie de precipitados inorgánicos, cristalinos o no, o bien, incorporado en compuestos orgánicos, o en la solución del suelo; sin embargo, la mayoría se encuentra absorbido en compuestos orgánicos o inorgánicos. Debido a que su movimiento en el suelo es muy limitado, debe estar en la fase móvil o asociada con partículas, ya que el flujo masa es probablemente medio más importante de transporte. Hodgson et al (1966), observaron que más del 98% del cobre del suelo se encuentra complejoado con la materia orgánica. Fácilmente forma complejos muy estables que son compuestos predominantes en la solución. En turbas con pH 3,5 entre 60 y 90% del Cu^{2+} extraído en agua se encontró complejoado orgánicamente.

Al elevar el pH a 6,0 el grado de complejación se incrementó hasta el 98% (Russell, 1988). Schnitzer (1969), indica que de ocho iones divalentes, el Cu^{2+} es el que forma complejos más estables al combinarse con el ácido fúlvico envolviendo grupos carboxilos y

fenólicos. De este modo, la disponibilidad natural de Cu^{2+} en el suelo puede ser controlada por medio de la formación de complejos con la materia orgánica o con otros constituyentes iónicos del suelo. Algunos trabajos, como los realizados por Mercer y Richmond (1970), muestran que la disponibilidad de Cu^{2+} en suelos orgánicos depende no sólo de la concentración de Cu^{2+} en la solución, sino también de la forma en que éste se presenta. Estos autores indican que los complejos de Cu^{2+} con un peso molecular menor de 1000 unidades de masa atómica (uma) son mucho más disponibles para las plantas, que aquellos con un peso mayor de 5000uma. Por lo tanto, el uso de la materia orgánica no siempre es una alternativa viable para rehabilitar suelos contaminados con cobre. Debido a su escasa movilidad el cobre casi no se lixivia. Sin embargo, Dowdy et al (1980), mencionados por Dowdy et al (1983), detectaron Cu^{2+} en el agua de escorrentía de suelos tratados con residuos orgánicos contaminados con Cu^{2+} . Cuando esto ocurre debe tomarse en cuenta que si la concentración de cobre en el agua de beber excede $1\mu\text{g/g}$, se producen efectos negativos en los humanos (Baker, 1974). Por este motivo, puede ser peligroso pensar en lixiviar el cobre acumulado en el suelo, ya que a largo plazo puede llegar al nivel freático y contaminar aguas subterráneas utilizadas para el consumo humano. Fuentes de Cobre Sulfato de Cobre (CuSO_4): con una concentración de 22,5% de Cu, es una excelente fuente para aplicaciones foliares al 0,5%.

4.2.4. El Zinc

El símbolo es Zn, su número atómico 29 y su masa atómica es 65,39g/mol. El zinc es un metal pesado de color blanco azulado.

4.2.4.1. Efecto del Zinc

Los compuestos de zinc se encuentran en forma natural en el aire, suelo y agua. El zinc es un elemento esencial para la salud humana, en las comidas que necesita el cuerpo se presenta en dosis bajas.

El zinc es un elemento esencial en la dieta. Ingerir muy poco zinc puede causar problemas, pero demasiado zinc también es perjudicial.

Cierta cantidad de zinc liberada al ambiente por procesos naturales, pero la mayor parte proviene de actividades humanas tales como la minería, producción, combustión de petróleo e incineración de desperdicios.

Se adhiere al suelo, sedimentos y a partículas de polvo en el aire. La lluvia y la nieve remueven las partículas de polvo con zinc del aire. Dependiendo del tipo de suelo, algunos compuestos de zinc pueden movilizarse al agua subterránea y a lagos, arroyos y ríos. La mayor parte del zinc en el suelo permanece adherido a partículas de suelo y no se disuelve en agua. Se acumula en peces y en otros organismos, pero no en plantas.

Los efectos nocivos generalmente se empiezan a manifestar a niveles de 10-15 veces más altos que la cantidad necesaria para mantener buena salud. La ingestión de grandes cantidades puede causar calambres estomacales, náuseas y vómitos. Si se ingieren grandes cantidades en un periodo más prolongado puede ocurrir anemia, inhalar grandes cantidades de polvos o vapores de zinc puede producir una enfermedad de corta duración llamada fiebre de metal. Colocar pequeñas cantidades de ciertos compuestos de zinc en la piel de conejos ratones produjo irritación de la piel. La irritación de la piel es probable que ocurra también en seres humanos. El zinc es esencial para el crecimiento y desarrollo adecuado de los niños. Es probable que los niños expuestos a niveles de zinc muy altos exhiban efectos similares a los observados en adultos.

Los niveles de zinc que producen efectos a la salud son generalmente mucho mayores que los recomendados para una dieta normal, para el zinc es de 15mg/día (para hombres) y 12mg/día (para mujeres). Si se ingieren dosis grandes de zinc (de 10 a 15 veces mayor a lo recomendado).

Dado que raras veces se conoce el valor de la concentración de la sustancia investigada en la muestra a analizar, todo el procedimiento de

muestreo debe de ser comprobado con el fin de determinar cualquier fuente de error con el mismo. Pese a que el empleo de métodos estadísticos permite evaluar el grado de error, su disminución precisa de medidas específicas de control.

El programa de control de calidad tiene como objetivo determinar las medidas de control necesarias para minimizar los errores de los resultados finales. Para conseguirlo, todos los aspectos del programa de muestreo deben ser planeados con detalle, siendo necesario documentar todas las etapas del mismo. Los registros del proceso de toma de muestras deben establecer claramente los pasos realizados, quien los realizo y las circunstancias en las que se llevaron. De esta forma, la cantidad del proceso puede ser evaluada a partir de la documentación generada.

El proceso de toma de muestra, abarca todo lo relacionado con el proceso de obtención de la muestra en sí. Los aspectos más relevantes a controlar son los siguientes:

- Actividades previas al trabajo de campo, como la comprobación y calibrado de equipos, limpieza y embalaje de los envases, etc.
- Origen de la muestra. La determinación del lugar, periodo de toma, y demás condiciones de muestreo se realizará de acuerdo

con el protocolo establecido, y basándose en las hipótesis de trabajo del proyecto a realizar.

- Metodología de muestreo. Las técnicas y el equipamiento de toma de muestras deben ajustarse, tanto a los objetivos del muestreo, como las características del suelo a estudiar. Las desviaciones en este pueden hacer que la muestra sea inútil para el fin previsto.
- Análisis realizados en el campo. En el caso de parámetros determinados in situ las condiciones de trabajo que las desviaciones del protocolo puedan originar amplios errores. En ocasiones resulta imprescindible registrar datos auxiliares como temperatura, condiciones meteorológicas, etc. De gran importancia en la interpretación final de los datos.
- Conservación de la muestra. El lapso de tiempo al traslado de la muestra hasta el laboratorio exige, en numerosas ocasiones, que se garantice la conservación de la muestra mediante el establecimiento de un ambiente adecuado (aditivos químicos, baja temperatura, oscuridad, etc).
- Transporte y preparación. El proceso de traslado de la muestra desde el campo hasta el laboratorio de análisis de garantizar, solo no solo la integridad de la muestra, sino también la continuidad de los mecanismos de control. Para ello es preciso elaborar protocolos acerca de las características de los

recipientes de transporte, la forma de identificación de los mismos y las condiciones de transporte.

- Factor humano. La falta de preparación o los descuidos debidos a la inexperiencia o la desidia pueden dar lugar a una pérdida irreversible de información. Un programa de formación adecuado, junto al estricto seguimiento asegura los datos recabados.
- Documentación. Es imprescindible que, en cualquier momento, se pueda reconstruir la historia de las muestras analizadas. Por ello, los protocolos de todas las operaciones realizadas deben especificar claramente la información de la misma que debe ser registrada, así como la forma de hacerlo. De esta manera, cualquier anomalía podría ser rastreada hasta su origen. Otro aspecto importante de documentación es su papel como garante de la identidad de la muestra y su conservación, especialmente en lo referente con la cadena de custodia.

4.3 Fitorremediación

La fitorremediación es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados. Aunque se encuentra en desarrollo, constituye una estrategia muy interesante, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados,

compuestos orgánicos y radioactivos. La fitorremediación ofrece algunas ventajas y desventajas frente a los otros tipos de biorremediación:

Ventajas:

- ✓ Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos y aguas contaminadas.
- ✓ Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
- ✓ Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.

Limitaciones:

- ✓ El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.
- ✓ Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados.
- ✓ La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación.

4.3.1 Plantas Fitorredificadoras adecuadas

Existe una serie de plantas con capacidad de hiperacumular selectivamente algunas sustancias contaminantes. En la mayoría de los casos no se trata de especies raras, sino de cultivos conocidos como:

- Los Alamos (género *pulus*) absorben selectivamente Ni, Cd y Zn.
- La *Arabidopsis thaliana* hiperacumula Cu y Zn
- *Hypac henia hirte* hiperacumula Pb.
- *Zygophyllum* hiperacumula Zn.
- *Anthyllis vulneraria* hiperacumulas Zn y Pb.
- *Beschampsia cespitosa* hiperacumula Pb y Zn.
- *Cardaminopsis arenosa* hiperacumula Zn.
- *Festuca arundinaceae* hiperacumula Pb y Zn.
- *Brassica juncea* hiperacumula Zn, Cd, Cu y Pb.

V. MATERIAL, REACTIVOS Y MÉTODOS

5.1. Materiales

- ✓ Una azada de Fe
- ✓ Una pequeña pala de mano de Fe
- ✓ Bolsa de Plástico nueva
- ✓ Un dinamómetro de 1Kg
- ✓ 5 vasos de 250 mL
- ✓ 1 pipeta volumétrica de 20 mL
- ✓ 1 pipeta de 20 mL
- ✓ 5 balones de 50 mL
- ✓ 1 termómetro de 150°C
- ✓ 10 tubos de centrifuga

5.2. Reactivos

- ✓ Agua regia
- ✓ $[\text{Mg Cl}_2] = 1\text{M}$
- ✓ $[\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}] = 3,5\text{ M}$
- ✓ $[\text{HNO}_3] = 1\text{ M}$
- ✓ NaCl (29,25 g)
- ✓ HNO_3 15 g
- ✓ $\text{N}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}$ (2g)
- ✓ La_2O_3 solución al 5% P/N

5.3 Métodos para la Administración del Área y Época de la Toma de Muestra.

Se recorre el suelo de cultivo, haciendo un croquis simple de la superficie total que es un terreno más o menos homogéneo, examinando el tipo de suelos y su apariencia física. El suelo es conocido y ya está dedicado al cultivo de plátano.

Las primeras muestras se tomaron en el mes de Febrero del 2014 en un número de 15 pares (10 y 20cm de profundidad) y el segundo muestreo se realizó en el mes de Febrero del 2015, también en un número de 15 pares de muestra y a las profundidades del año anterior.

Con la ayuda de la azada y la pala de mano, las muestras fueron colocadas, cada una de ellas en bolsas de plásticos, y el peso de cada muestra fue de 1Kg.

Es necesario recorrer el terreno en zig-zag a través de los lotes escogidos, tomando muestras a cada 30 pasos por pares, porque se muestran a 10 y 20cm de profundidad.

5.3.1 Factores Considerados en el Muestreo

Por decisión del investigador se consideró dos zonas de investigación en el lote total, esto se efectuó porque en una zona al cual se denominará zona A la declinación de la fruta no es muy notoria, en cambio en otra zona a la que se denomina zona B si es evidente una mayor declinación de la fruta.

Se tomó lotes de 1ha por tratarse de superficie uniformes y con el mismo uso agrícola tanto en la zona A como en la zona B.

Se tomó 15 pares de muestra para la zona A y también 15 pares de muestra por la zona B en cada fecha programada, siendo esto un número representativo.

Se consideró en el terreno agrícola hoyos de una profundidad de 10 y 20cm, por que las raíces del plátano no son nada profundas.

Las muestras fueron tomadas en lugares no alterados.

5.3.2. Determinación de Plomo.

El plomo total fue determinado siguiendo la metodología propuesta por Sillampa y Janson (1992), se toma 0,2g de muestra homogenizada se coloca en un vaso de precipitado de 250mL agregando 20 mL de agua

regia. Se tapa con una luna de reloj, colocándose en una plancha de calentamiento a 120°C.

Se dejó calentar por 3 horas, agregando agua regia para evitar el desecamiento de la muestra. Al final del periodo, se enfrió y filtro a un balón de 50mL utilizando agua destilada. La fracción de Pb soluble fue extraída utilizando dos soluciones extractoras; cloruro de magnesio 1M y acetato de amonio 3,5M a pH7. El procedimiento consistió en tomar muestras de 0,5g de suelo que fueron colocadas en 10 tubos de centrifuga de 100mL y se agitó por 4 horas. Posteriormente las suspensiones fueron centrifugadas a 3000 revoluciones por 4 horas y filtradas en frascos de plásticos previamente enjuagados con ácido nítrico 1M. las muestras se llevaron a un espectrofotómetro a absorción atómica.

5.3.3. Determinación de Cobre y Zinc

Se usó una solución extraída de NaCl 29,25g Ácido Cítrico 5g, Benzoato de Sodio 2g se disuelven y aforan a 1L con agua destilada. La función de cada reactivos es el siguiente. El Cloruro de Sodio sirve para extraer las bases intercambiables. El Ácido Cítrico sirve para conservar el reactivo evitando la presencia de Hongos y Levaduras que suelen alterar el Ácido Cítrico.

El procedimiento es como sigue: Se toman 10mL de pasta saturada de suelo, se agregan 100mL de solución extractora y se agita durante 1 hora, se filtra. Del filtrado se toman 24,5 mL y se agregan 0,5mL de solución Óxido de Lantano al 5% P/V. en este alícuota se leen los cationes del Cobre y el Zinc por expectometría de Absorción Atómica directamente contra patrones preparados en el reactivo de extracción.

5.4. Plantas Seleccionadas

Se selecciona las siguientes plantas fitorremediadores de ítem 5.3.

Estas plantas hiperacumuladoras de Pb, Zn y Cu son fáciles de cultivar y son adaptables en terrenos húmedos como los cultivos de San José.

1. Álamo (hiperacumula Pb)
2. Hypac heniahirte (hiperacumula Pb)
3. Arabidopsis thaliana (hiperacumula Cu y Zn)
4. Anthyllis vulneraia (hiperacumula Zn y Pb.
5. Cenchurs ciliari (hiperacumula Cu

La biomasa de las plantas acumuladores de contaminantes metálicos, y luego del período de tiempo determinado, se cosecha y se incinera, en cuyas cenizas se encuentra concentrado el metal contaminante o se la da otro curso dependiendo del contaminante. De esta forma, los

contaminantes acumulados en las plantas no se transmiten a través de las redes alimentarias a otros organismos.

5.5. Sembrado de plantas fitorremediadoras

Visto la apariencia del suelo agrícola y que habiendo una zona muy diferente en su producción a la que se llamará zona B, se tomó al azar 0,5 hectáreas de terreno, en la que se sembró álamos, hypae hemiahurta, arabidopsis tralim, anthyllis vulneraria y conchrus ciliari, la siembra de estas plantas se efectuó en el mes de marzo de 2014, dejando espacio adecuado para que la cercanía no afecte el crecimiento del plátano, que se sembró en mayo del 2014, denotó un crecimiento regular, con mayor lozanía que el resto de la zona B.

La siembra de las plantas fitorremediadores es muy simple, basta con hacer un hoyo en el suelo, colocar los tallitas o ramitas en él y agregar tierra para que cubra una parte de los tallitos.

5.6. Análisis estadísticos

Se aplicará un método estadístico de acuerdo a los resultados que darán la muestras al aplicar el análisis químico por absorción atómica, si este fuere del tipo de medidas centrales que dan un valor medio de las variables, de no ser así se adoptaría las medidas de dispersión que describen el comportamiento de la variable respecto a su desviación respecto a la media.

VI. RESULTADOS

6.1. Resultado Instrumental de Suelos Contaminados

El resultado instrumental se presenta en las siguientes tablas, primero sobre las muestras tomadas en Febrero del 2014, que se muestran en las tablas 6.1. Resultado de la zona A y en la tabla 6.2 se dan los resultados de la zona B.

TABLA 6.1.

CONCENTRACIÓN DE PLOMO, ZINC Y COBRE EN LA ZONA A.

| N° DE MUESTRA | Pb(ppm) | Zn (ppm) | Cu (ppm) |
|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0,004 | 0,007 | 0,060 |
| 2 | 0,006 | 0,008 | 0,067 |
| 3 | 0,005 | 0,006 | 0,063 |
| 4 | 0,007 | 0,006 | 0,063 |
| 5 | 0,007 | 0,007 | 0,065 |
| 6 | 0,004 | 0,007 | 0,0065 |
| 7 | 0,004 | 0,008 | 0,068 |
| 8 | 0,005 | 0,007 | 0,066 |
| 9 | 0,005 | 0,006 | 0,065 |
| 10 | 0,004 | 0,007 | 0,070 |
| 11 | 0,005 | 0,008 | 0,068 |
| 12 | 0,006 | 0,007 | 0,060 |
| 13 | 0,004 | 0,006 | 0,062 |
| 14 | 0,005 | 0,007 | 0,065 |
| 15 | 0,005 | 0,008 | 0,065 |

Fuente: El Autor

Nota: Tanto a la profundidad de 10cm y 20cm se obtuvieron los mismos resultados.

TABLA 6.2.

CONCENTRACIÓN DE PLOMO, ZINC Y COBRE EN LA ZONA B

| N° DE MUESTRA | Pb(ppm) | Zn (ppm) | Cu (ppm) |
|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0,018 | 0,640 | 168 |
| 2 | 0,020 | 0,680 | 165 |
| 3 | 0,020 | 0,697 | 166 |
| 4 | 0,018 | 0,700 | 167 |
| 5 | 0,018 | 0,686 | 169 |
| 6 | 0,015 | 0,690 | 170 |
| 7 | 0,014 | 0,690 | 165 |
| 8 | 0,018 | 0,700 | 165 |
| 9 | 0,018 | 0,700 | 166 |
| 10 | 0,017 | 0,640 | 168 |
| 11 | 0,018 | 0,640 | 170 |
| 12 | 0,020 | 0,694 | 170 |
| 13 | 0,019 | 0,630 | 170 |
| 14 | 0,018 | 0,638 | 170 |
| 15 | 0,018 | 0,640 | 165 |

Fuente: El Autor

6.2. Resultado Instrumental después de la Fitorremediación

En la Tabla 6.3. (zona A), 3.4 (zona B) y 6.5 (zona B) se dan los resultados de las muestras tomadas en febrero del 2015.

TABLA 6.3.

CONCENTRACIÓN DE PLOMO, ZINC Y COBRE EN LA ZONA A

| N° DE MUESTRA | Pb(ppm) | Zn (ppm) | Cu (ppm) |
|---------------|---------|----------|----------|
| 1 | 0,006 | 0,006 | 0,062 |
| 2 | 0,004 | 0,006 | 0,063 |
| 3 | 0,004 | 0,007 | 0,064 |
| 4 | 0,005 | 0,007 | 0,065 |
| 5 | 0,005 | 0,007 | 0,065 |
| 6 | 0,006 | 0,008 | 0,068 |
| 7 | 0,004 | 0,007 | 0,065 |
| 8 | 0,004 | 0,007 | 0,066 |
| 9 | 0,005 | 0,008 | 0,066 |
| 10 | 0,005 | 0,008 | 0,067 |
| 11 | 0,006 | 0,006 | 0,060 |
| 12 | 0,006 | 0,007 | 0,065 |
| 13 | 0,006 | 0,006 | 0,061 |
| 14 | 0,004 | 0,008 | 0,068 |
| 15 | 0,005 | 0,007 | 0,068 |

Fuente: El Autor

Nota: Tanto a la profundidad de 10cm y 20cm se obtuvieron los mismos resultados.

TABLA 6.4**CONCENTRACIÓN DE PLOMO, ZINC Y COBRE EN LA ZONA B**

| N° DE MUESTRA | Pb(ppm) | Zn (ppm) | Cu (ppm) |
|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0,018 | 0,665 | 166 |
| 2 | 0,018 | 0,672 | 168 |
| 3 | 0,019 | 0,670 | 170 |
| 4 | 0,017 | 0,662 | 170 |
| 5 | 0,017 | 0,680 | 165 |
| 6 | 0,019 | 0,661 | 164 |
| 7 | 0,017 | 0,672 | 168 |
| 8 | 0,018 | 0,672 | 166 |
| 9 | 0,018 | 0,674 | 168 |
| 10 | 0,017 | 0,671 | 166 |
| 11 | 0,017 | 0,672 | 167 |
| 12 | 0,018 | 0,672 | 167 |
| 13 | 0,017 | 0,672 | 167 |
| 14 | 0,016 | 0,680 | 166 |
| 15 | 0,017 | 0,670 | 167 |

Fuente: El Autor

TABLA 6.5.**CONCENTRACIÓN DE PLOMO, ZINC Y COBRE EN EL SUELO EN
EL QUE SE APLICÓ LA FITORREMEDIACIÓN**

| N° DE MUESTRA | Pb(ppm) | Zn(ppm) | Cu(ppm) |
|---------------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.012 | 0.580 | 140 |
| 2 | 0.011 | 0.500 | 140 |
| 3 | 0.010 | 0.500 | 148 |
| 4 | 0.010 | 0.580 | 150 |
| 5 | 0.009 | 0.500 | 155 |
| 6 | 0.009 | 0.600 | 140 |
| 7 | 0.010 | 0.500 | 142 |
| 8 | 0.010 | 0.500 | 140 |
| 9 | 0.010 | 0.600 | 145 |
| 10 | 0.010 | 0.580 | 158 |
| 11 | 0.010 | 0.580 | 140 |
| 12 | 0.010 | 0.581 | 140 |
| 13 | 0.009 | 0.560 | 148 |
| 14 | 0.010 | 0.560 | 145 |
| 15 | 0.010 | 0.580 | 144 |

Fuente: El Autor

X

VII. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos, presentado en las tablas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5 de datos experimentales y el proceso de sacar las medidas aritméticas presentados en el Apéndice por no haber mayor dispersión en los datos ya mencionadas y tomando en cuenta lo que establece la Agencia de Protección Ambiental (EPA) que para el Plomo como máximo permisible 0,014ppm y para el Zinc 0,630ppm y en lo que se refiere al Cobre, López y Solis (1991), dan como máximo permisible 162 ppm.

Por lo que, lo encontrado en los suelos de cultivo de plátanos en el Fundo de San José están muy por debajo de los valores mencionados, puesto que se encontró 0,005 ppm para el Pb, 0,007 ppm para el Zn y 0,065 ppm para el Cu, lo que lleva a concluir que estos elementos no están perjudicando la calidad de la fruta, para la zona A.

En cuanto a los objetivos propuestos, se manifiesta que la fitorremediación no es aplicable para estos elementos en suelos investigados, de la zona A porque la cantidad existe de Plomo, Zinc y Cobre no alcanzan un valor contaminante. En cambio es de manifiesto que si es posible aplicar la fitorremediación para la zona B, donde el suelo de cultivo tiene exceso de Pb, Zn y Cu, por lo que se puede

sembrar adecuadamente las plantas fitorremediadoras señaladas en el ítem 5.4, sobre todo el álamo que es un buen hiperacumulador de Pb, considerando que este elemento es un contaminante muy dañino para la salud del ser humano.

Al aplicarse la fitorremediación a 0,5 hectáreas de la zona B contaminada como se observa en la Tabla 6.5, se pudo observar una mejoría substancial en la producción del plátano comparado con el resto de la zona B.

Todo esto es basándose en los resultados obtenidos.



VIII REFERENCIALES

1. <http://www.fbmc.uba.ar/materias/abgt/teoricos/fitorremediacion.pdf>
2. <http://www.scescyt.gor/CyT/documentos%20congresos/IIcongreso2007/BiotecnologíayBiorremediación.pdf>
3. <http://www.elpais.com/diccionarios/castelano/plomo>
4. http://webcache.googleusercontent.com/search?q=clave_v91F342WlYJiwww.texascenter.org/publications/torreon.pdf+El+plomo+es+un+metal+pesado&h=es&gl=pe
5. BAUTISTA CRUZ, ANGELICA. ARMAUD VIÑAS, MARÍA DEL ROSARIO. Elementos Potencialmente Tóxicos en Suelos Agrícolas con Manejo de Riesgo Contaminante: Xoxotlan-Mexico: Homos, Primera Edición, 2005.
6. BECERRIL, J.M. BARRUTIA O., GARCIA PLAZAOLA J.I. HERNANDEZ A., OLANO J.M. GORBISU C. Especies Nativas de Suelos Contaminados por Metales: Aspectos Ecofisiológicos y su uso en Fitorremediación. Revista Ecosistema. 2007/2, España, 2007.
7. BERNAL M.P., CLAMENTE R., VASQUEZ S., WALKER D.J. Aplicación de la Fitorremediación a los suelos Contaminados por Metales Pesados en Aznalcollar, revista Ecosistemas 2007/2, España 2007.

8. OGUNDIRAN M.B. y OSL BANJO O, Movilidad y Especiación de Metales Pesados en los Suelos Afectados por Residuos Peligrosos y Especiación Química de Biodisponibilidad. Universidad de Ibadan, Nigeria: 59-69, 2009.
9. ORTEGA ORTIS, H., BENAVIDES MENDOZA, A, ORTEAGA ALONZO, R., ZERMEÑO GONZALEZ, A. Fitorremediación de Suelos Contaminados con Metales Pesados. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila México 2008.
10. PLACENCIA C. GILDARDO., GOMEZ SANTOS, Raúl, MARTINS., José E. Manejo Sostenible de Cultivo de Plátano. Corpoica. Colombia: Corpoica. Primera Edición. 2006.
11. RAMOS BELLO, R., CAJUSTE, L.T. FLORES ROMAN y GARCÍA CALDERON, N.E. Metales Pesados, sales, sodio en suelos de Chinampa en México. Agrociencia (38:385-395), 2001.

IX. APÉNDICE

9.1 Promedios

Estudiándolas Tablas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5 se puede observar que la dispersión de los resultados para cada elemento es mínimo, por lo cual se adoptó considerar sólo las medidas asimétricas, en cada caso.

De la Tabla 6.1.

$$\overline{Pb} = \frac{0,004 + 0,006 + 0,005 + 0,007 + 0,007 + 0,004 + 0,004 + 0,005 + 0,005 + 0,004 + 0,005 + 0,006 + 0,004 + 0,005 + 0,005}{15} = 0,005 \text{ ppm}$$

$$\overline{Zn} = \frac{0,007 + 0,008 + 0,006 + 0,006 + 0,007 + 0,007 + 0,008 + 0,007 + 0,006 + 0,007 + 0,008 + 0,007 + 0,006 + 0,007 + 0,008}{15} = 0,007 \text{ ppm}$$

$$\overline{Cu} = \frac{0,060 + 0,067 + 0,063 + 0,063 + 0,065 + 0,065 + 0,068 + 0,066 + 0,065 + 0,070 + 0,068 + 0,060 + 0,062 + 0,065 + 0,065}{15} = 0,065 \text{ ppm}$$

De la Tabla 6.2.

$$\overline{Pb} = \frac{0,018 + 0,020 + 0,020 + 0,018 + 0,018 + 0,015 + 0,014 + 0,018 + 0,018 + 0,017 + 0,018 + 0,020 + 0,019 + 0,018 + 0,018}{15} = 0,0176 \text{ ppm}$$

$$\overline{Zn} = \frac{0,640 + 0,620 + 0,697 + 0,700 + 0,687 + 0,690 + 0,690 + 0,700 + 0,700 + 0,640 + 0,640 + 0,694 + 0,630 + 0,638 + 0,640}{15} = 0,671 \text{ ppm}$$

$$\overline{Cu} = \frac{168 + 165 + 167 + 169 + 170 + 165 + 165 + 166 + 168 + 170 + 170 + 170 + 170 + 165}{15} = 167,6 \text{ ppm}$$

De la Tabla 6.3.

$$\overline{Pb} = \frac{0,006 + 0,004 + 0,004 + 0,005 + 0,006 + 0,004 + 0,004 + 0,005 + 0,005 + 0,006 + 0,006 + 0,004 + 0,005}{15} = 0,005 \text{ ppm}$$

$$\overline{Zn} = \frac{0,006 + 0,006 + 0,007 + 0,007 + 0,007 + 0,008 + 0,007 + 0,007 + 0,008 + 0,008 + 0,006 + 0,007 + 0,006 + 0,008 + 0,007}{15} = 0,007 \text{ ppm}$$

$$\overline{Cu} = \frac{0,062 + 0,063 + 0,064 + 0,065 + 0,068 + 0,068 + 0,065 + 0,067 + 0,066 + 0,070 + 0,060 + 0,065 + 0,068}{15} = 0,065 \text{ ppm}$$

De la Tabla 6.4.

$$\overline{Pb} = \frac{0,018 + 0,018 + 0,019 + 0,017 + 0,017 + 0,019 + 0,017 + 0,018 + 0,018 + 0,018 + 0,017 + 0,017 + 0,018 + 0,017 + 0,016 + 0,017}{15} = 0,0176 \text{ ppm}$$

$$\overline{Zn} = \frac{0,665 + 0,672 + 0,670 + 0,662 + 0,680 + 0,661 + 0,672 + 0,672 + 0,674 + 0,671 + 0,672 + 0,672 + 0,672 + 0,680 + 0,670}{15} = 0,671 \text{ ppm}$$

$$\overline{Cu} = \frac{166 + 168 + 170 + 170 + 165 + 164 + 168 + 166 + 168 + 166 + 167 + 167 + 167 + 166 + 167}{15} = 167 \text{ ppm}$$

De la Tabla 6.5.

$$\overline{Pb} = \frac{0,012 + 0,011 + 0,10 + 0,010 + 0,009 + 0,009 + 0,010 + 0,010 + 0,010 + 0,010 + 0,010 + 0,010 + 0,009 + 0,010 + 0,010}{15} = 0,010$$

$$\overline{Zn} = \frac{0,580 + 0,500 + 0,500 + 0,580 + 0,500 + 0,600 + 0,500 + 0,500 + 0,600 + 0,580 + 0,580 + 0,581 + 0,560 + 0,560 + 0,580}{15} = 0,554$$

$$\overline{Cu} = \frac{140 + 140 + 148 + 150 + 155 + 140 + 142 + 140 + 145 + 158 + 140 + 140 + 148 + 145 + 144}{15} = 145$$

TABLA 9.1.

PROMEDIO DE LAS CONCENTRACIONES DE LAS TABLES 6,1 y 6

,3

| ELEMENTO | MEDIDA EN ppm |
|-----------------|----------------------|
| Plomo (Pb) | 0,005 |
| Zinc (Zn) | 0,007 |
| Cobre (Cu) | 0,065 |

Fuente: El autor

TABLA 9.2.

PROMEDIO DE LAS CONCENTRACIONES DE LA TABLAS 6.2 y 6.4

DE LA ZONA B

| ELEMENTO | MEDIDA EN ppm |
|-----------------|----------------------|
| Plomo (Pb) | 0,0176 |
| Zinc (Zn) | 0,671 |
| Cobre (Cu) | 167 |

TABLA 9.3.

PROMEDIO DE LAS CONCENTRACIONES DE LA TABLAS 6.5 DE

LA 0.5 HECTAREAS DE LA ZONA B

| ELEMENTO | MEDIDA EN ppm |
|-----------------|----------------------|
| Plomo (Pb) | 0.010 |
| Zinc (Zn) | 0.554 |
| Cobre (Cu) | 145 |

X. ANEXOS

11.1 Matriz de Consistencia

SANEAMIENTO DE SUELOS POR FITORREMEDIACIÓN DE LOS CULTIVOS DE PLÁTANOS EN EL FUNDO SAN JOSÉ DEL DISTRITO DE MALA.

| PROBLEMA | OBJETIVOS | JUSTIFICACIÓN | HIPÓTESIS | VARIABLES | INDICADORES |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>En que medida la fitorremediación contribuirá en mejorar los suelos contaminados por metales pesados en el fundo San José San Pedro de Mala.</p> | <p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Elaborar un tratamiento por fitorremediación de los suelos contaminados por metales pesados en los fundos de San José.</p> | <p>IMPORTANCIA</p> <p>El método de fitorremediación es de gran importancia porque de esta forma se recuperaría una zona agrícola de más productividad.</p> | <p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>La fitorremediación es un tratamiento que permite el mejoramiento de los suelos contaminados por metales pesados en los fundos de San José.</p> | <p>VARIABLES INDEPENDIENTES</p> <p>Suelos contaminados.</p> | <p>a) La fitorremediación permitirá mitigar la contaminación de los suelos.</p> <p>b) Mejorar la calidad de la producción de los plátanos.</p> |
| <p>PROBLEMA ESPECÍFICOS</p> <p>a) ¿Qué plantas fitorremediadoras existen en mala para ser utilizadas?</p> <p>b) ¿Qué nivel de concentración de iones pesados tendrán el suelo de cultivo de San José?</p> <p>c) ¿Será útil la fitorremediación?</p> | <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Identificar las plantas que se pueden utilizar como fitorremediadores.</p> <p>b) Caracterizar los suelos contaminados por metales pesados.</p> <p>c) Elaborar una propuesta del tratamiento de suelo contaminado con metales pesados.</p> | <p>JUSTIFICACIÓN</p> <p>La fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados permitirá mejorar la producción y calidad de plátanos.</p> | <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</p> <p>Se buscará plantas fitorremediadoras que permitan la recuperación y mejoramiento de suelos contaminados por metales pesados.</p> | <p>VARIABLES DEPENDIENTE</p> <p>Plantas fitorremediadoras.</p> | |